

ワイヤレス伝送技術の宇宙応用を目指して

著者	藤野 義之
雑誌名	工業技術：東洋大学工業技術研究所報告
号	36
ページ	58-67
発行年	2014
URL	http://id.nii.ac.jp/1060/00007613/



ワイヤレス伝送技術の宇宙応用を目指して For Space Application of Wireless Transmission Technology

藤野義之*

1. はじめに

東日本大震災以降、携帯電話やエネルギーなど、当たり前に使われていた身近な技術が、実は災害に対して非常に脆弱であったということが教訓としてあげられている。私どもでは無線技術の宇宙応用を通じて、このような災害時においても有効な技術の研究開発を行っている。一つは、地上の携帯基地局が使えなくなってしまうと、衛星を使って携帯通信が可能な次世代衛星携帯通信システムである。もう一つは、無線により電力を伝送することを通じて、エネルギー問題に解決を目指す、宇宙太陽発電衛星システムである。本稿ではこれらのそれぞれに関してその概要と開発した技術を紹介する。

2. 次世代型衛星携帯通信技術

2. 1 概論

近年、携帯電話を始めとする移動体通信サービスの社会的役割はますます増大しており、特に携帯電話はその利便性や高機能化を受けて防災・減災等での利用も検討されている。しかしながら地上系通信システムには災害に対する脆弱性、すなわち、中継回線の寸断による不通、停電による基地局・中継局の停波や、輻輳による通信規制等が想定される¹⁾。さらに圏外エリアのユーザや沿海域航行の船舶、山岳登山者などが直面する不感地域対策も必要である。平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災はこれらの脆弱性を顕在化する結果となり、携帯基地局に最大で 14,000 局の停波が生じ、その修復には 1 ヶ月を超える期間を要した²⁾。

これらの対策として特に有効であると考えられるのは、普段使用している携帯端末での衛星通信の実現である³⁾。これは、地上系と衛星系の携帯電話システムを統合し、共用携帯端末を用いてサービスを提供するシステ

ムである。従来の衛星携帯電話（ワイドスター II³⁾ やイリジウム⁴⁾ など）は、衛星の持つ広域性により広いサービスエリアを実現可能である反面、端末のサイズや重量の低減化、専用端末が必要、等の課題がある。このため、緊急用の衛星通信専用端末は、平常時に適切な訓練や整備を要しており、場合により災害時に使用できないことが想定される。そこで、住民が普段使用している携帯端末に衛星通信機能を付加することにより、普段は地上系の携帯電話網に接続するとともに山岳地域や沿海域等の地上携帯電話不感地帯で衛星回線を使用し、災害時は衛星回線を活用することが可能となる。

地上系と衛星系通信システムを統合して周波数有効利用のため、同一周波数帯を共用しつつ通信を行う「地上/衛星共用携帯電話システム」（Satellite/Terrestrial Integrated Mobile Communication System：以下 STICS と呼ぶ）の研究開発が行なわれている⁵⁾。これは、地上系と衛星系の携帯電話システムを統合し、共用携帯端末へサービスを提供するシステムである。このため、次世代安全安心 ICT フォーラム衛星通信分科会等で衛星通信システムの活用に関して検討が実施され、平成 20 年度に総務省の研究課題として採択された。

2. 2 想定するシステム

図 1 に地上/衛星共用携帯電話システムの利用イメージと特徴を示す。STICS は、平常時には山岳地域や沿海域等の携帯電話不感地帯でのデジタル・ディバイド対策として、また災害時は住民等への的確な災害情報の伝達や迅速な救援活動等に不可欠な情報通信インフラとして利用可能なシステムである。また、従来は衛星系と地上系でそれぞれ専用の端末であり、また専用の周波数帯が割り当てられていたのに対し、STICS では共用端末で地上系と衛星系のどちらの通信網にも接続可

*理工学部 電気電子情報工学科

能であり、さらに同一の周波数帯を共用することで高い周波数利用効率を実現することができる。周波数帯としては例えば IMT-2000 の移動衛星サービス (MSS) 用周波数帯 (S 帯の上り 1980-2010MHz, 下り 2170-2200MHz の各 30MHz) が想定されている。図 1 に示す全体システム構成では、携帯端末や可搬端末等の共用端末は地上系と衛星系のどちらの通信網にも接続可能なデュアル通信機能を有する。携帯端末は超小型の衛星アンテナによる音声通信を主なサービスとし、可搬端末は小型の衛星アンテナによるデータ通信を主なサービスとする。地上局や基地局はそれぞれの制御装置で管理され、さらにコア・ネットワークを通して地上・衛星共通制御装置によって一元的に管理される。

この実現のために、直径 30m もの巨大な展開アンテナを衛星上に装備する。想定する衛星搭載アンテナ (図 2) の諸元は以下の通りである。送受信共用オフセットパラボラアンテナ 1 面を有し、その直径は約 30m、給電方式はフェーズドアレイ給電を利用した離焦点給電である。想定している焦点距離と開口径の比 (F/D) は 0.6、素子数とビーム数は共に 100 程度である。このときのビームスポット直径は約 200km となる。サービスエリアは日本の領土および経済水域が対象であり、近隣諸国に対してもフレキシビリティを持つこととしている。

2. 3 地上／衛星系システム検討

本研究開発では、地上系と衛星系を共存させる際にはこれらの干渉が必ず問題となる。本研究開発ではマルチビーム化された衛星ビームの周波数を分割した際に、地上と共用する際の干渉検討を実施している。干渉検討は 2 つの周波数共用手法に関して議論しており、一方をノーマルモード、他方をリバースモードと呼んでいる。これらは地上と衛星の周波数関係の違いにより定義されており、その関係と干渉経路の違いを図 3 に示す。その結果、本システムの収容局数を 9 千万局と概算した⁶⁾ほか、災害発生時の回線数の最適化機能を付加⁷⁾した。

また、干渉検討の基礎データとして、送信電力制御されている地上携帯電話の送信出力の測定のための実験

を実施するための実験装置を開発し、実験車に搭載して全国各地を走行し、都市部から低人口密度地域まで場所、時間等を変化させて測定を実施し、データを蓄積している^{8,9)}。図 4 に開発した送信電力測定装置の外観を示す。関東近傍の人口密度の異なる 7 箇所について測定を実施し、携帯電話からの送信電力の平均値と人口密度の関係図を取得した。平均送信電力は両社共に最大 +7dBm から最小 -10dBm 程度であり、市街地で -5dBm 前後であることが判明した¹⁰⁾。

また、同装置を航空機に搭載し、航空機において携帯電話上り周波数及び携帯基地局下り周波数を同時に受信することで、上空の衛星方向での干渉量を直接測定している。この試験も前記と同様に都市部から郊外部、加えて海上等での測定を実施している。この中で、いずれの場所においても、携帯電話上り周波数での受信電力は、携帯基地局下り周波数のそれと比較して、20dB 以上低い事が判明した¹¹⁾。基地局 (下り回線) では、地上通信はアンテナ指向性を下方にチルトさせており、衛星方向への放射はさほど大きくないと期待されたが、衛星への干渉量は携帯電話上り回線の方がより小さいことが判明した。これは、ノーマルモードにおける干渉量とリバースモードにおける干渉量を比較したときに、リバースモードの方が大きいということを示しており、本システムを導入する際の指針を得ている。

さらに、携帯端末は屋外で使用されるとは限らず、屋内においてある端末からの干渉量の評価に関して、鉄筋コンクリートの建物屋内での出力測定実験を¹²⁾実施し、干渉量評価に役立てている。また、平成 23 年度には、一般的な木造家屋からの干渉波測定についての実験を実施し¹³⁾、木造建物屋内の携帯電話送信電力は、屋外に比べて上昇することが観測され、干渉量は屋外と同程度かやや大きくなることが判明した。以上より、これまでの測定実験結果を利用し、精度の高い想定シナリオを作成して干渉評価を実施した。その結果、干渉量が 0.25mW 相当の僅少であることを示した。

また、端末系の技術に関しての多くは今後の課題となっているが、回線設計上は 10kbps の音声通信で端末電力 200mW、アンテナ利得 0dBi で十分マージンをもつ

た通信が可能であることが示されている⁵⁾。今後、これらの利得をもつ小型アンテナの開発が課題となる。

RIT(Radio Inter Face)については、既存の携帯型衛星通信の方式を準用する場合と、将来の方式を検討する場合の2種類が考えられる。多くの通信衛星で広く使われている方式はGSMの系列を組むGMR方式であるが、将来のRITとして、IMT-Advancedの衛星コンポーネントの議論がITU-Rにおいて韓国を中心に実施されており、今後の標準化動向を注視する必要がある。

2. 4 衛星系要素技術検討

本研究開発では、システムの実現に必要な衛星系の要素技術の研究も併せて実施している。これらは、耐飽和増幅器技術、超マルチビーム形成技術、低サイドローブ化技術、リソース割当再構成技術の4つの小項目に分類されている。

超マルチビーム形成技術は、衛星上で100個もの多数のマルチビームを形成して、衛星上で使用しない周波数を地上に割当可能とすることで、周波数の有効利用を図るための技術である。まず、アンテナ素子を数種のうちから選定して試作し、特性が最良の形式として、キャビティ付近接結合パッチアンテナ¹⁴⁾を選定し、さらに高密度アンテナ給電回路として、放射素子1素子と送受分離用のダイプレクサ、大電力増幅器／耐飽和低雑音増幅器を組み合わせた送受共用給電部の基本部分を試作した。この中で、アンテナの配列試験等を実施している。その後、これらの成果を元に、16素子小規模アレーの構築をSTICS衛星の諸元を反映したパラメータを用いて実施するとともに、カバーエリアをカバーするビームを作成するための、アンテナ鏡面への要求値を整理し、 $f/D=0.6$ 程度の鏡面が妥当であると結論した。

リソース割当再構成技術は衛星搭載のデジタルビーム形成(Digital Beam Forming : DBF)および周波数有効利用に資するチャネライザの技術を称している。近年、デジタル技術における集積度の向上はめざましく、衛星搭載においても例外ではない。このため、高機能で低消費電力な衛星搭載デジタル機器の構成が容易になりつつある。特に、FPGA(Field

Programmable Gate Array)等を使用した再構成可能な衛星搭載デジタル機器は衛星のオンボード機能の変更が可能であるという利点を持つ¹⁵⁾。また、デジタルベントパイプ方式は、いずれの変調方式も採用が可能であるという利点があるため、STICSにおいて採用することとした。搭載機器内部の構造図を図5に示す。左側が大型展開アンテナを有するS帯側で、右側がフィーダリンク側である。ビーム形成はDBFにて行うが、形成されたビーム信号はチャネライザによって合波される。チャネライザは使用している帯域のみ選択的に合波することが可能であるので、結果としてフィーダリンク側の帯域の削減が可能であり、周波数有効利用に資する構成である。この点はビーム形成を地上で行う、GBBF(Ground Based Beam Forming)方式を採用する米国システムに無い、STICSの有する非常に優れた特色である。

チャネライザ/DBFについては、基礎的な検討を実施したのち、チャネライジングとDBF一体化処理方式の基本設計を反映し基本回路を試作し、AD/DA変換、準同期検波部、DBFおよびデジタルチャネライザ演算部の単体評価と総合評価を実施した¹⁶⁾。チャネライザ/DBFについては、16素子以上の給電部に対応したチャネライザ/DBF装置の試作を実施している。さらに、この給電部とチャネライザ/DBF装置、周波数変換ユニットを用いた低サイドローブおよびビーム形成機能の確認と評価を近傍界測定装置(NFM)を用いて平成23年度に実施した¹⁷⁾。実験模様を図6に示す。給電部の低サイドローブ機能の評価のため、鏡面の特性を考慮し、等価的に64素子相当の測定を実施する評価手法を考案して測定した。このことで、STICSの30m鏡面を想定して、20dB以下の低サイドローブビーム形成を確認した。また、マルチビーム形成機能の検証を実施し、30mの鏡面を付加した場合、日本本土および経済水域内の±2.0度においてパターンが崩れることなく形成できることを確認した(図7)。従来のETS-VIIIのビーム形成エリアは±1.0度であり、広角度化が図られている¹⁸⁾。さらに多ビーム化したチャネライザ/DBFの検証のため、80素子/100ビーム相当に対応する送信超多ビームユニッ

トの試作を実施し、チャネライザを用いたリソース割当機能、DBFを用いたビーム形成機能を確認した¹⁹⁾。

さらに、チャネライザ/DBF装置の搭載化のための検討として、搭載時における寸法重量等の検討を実施し、消費電力はおおむね目標を達成しているが、小型化軽量化にさらに課題があることがわかった。また、搭載化に向けたチャネライザ/DBF要素技術の開発として、A/Dアンダーサンプリング技術および、小型低電力高速データバスインタフェース技術等²⁰⁾について試作を実施して検討した。

平成24年度にこれらの装置と給電部、大型展開アンテナを組み合わせた実証試験を京都大学生存圏研究所の大型電波暗室(A-METLAB)を借用して実施した写真を図8に示す。さらに、協調制御技術と組み合わせた総合試験を実施した。

今後、近隣諸国との標準化や事業者等との連携を通じて、本システムが実用化されていくと考えられる。

3. 宇宙太陽発電衛星システム技術

3. 1 電波で電気を送るシステム

電波を通信以外の目的で使用する、いわゆる電磁波応用技術の一分野として、無線によるエネルギー伝送がある。近年は様々な原理に基づく無線エネルギー伝送技術が実用化されてきているが、今回は電波(主にマイクロ波)を用いて電力を伝送する技術と、特有のデバイスであるレクテナについて紹介し、これを使ったシステムである宇宙太陽発電衛星システムに関して現在の状況を紹介する。

電波を使って電力を伝送するためには、まず電力を送信器を用いて電波に変換し、アンテナから送信する。電波は、レクテナと呼ばれる受信アンテナと整流回路が一体となった受電用デバイスに入射し、電力に変換されたのち、負荷側に供給される(図1)。無線電力伝送(Wireless Power Transmission, WPT)は、電力から電波への相互の変換作業が必要であるため、これら各段階での変換効率が問題となる。しかしながら、この技術を使うことにより、受電点にケーブルを接続することなしに電力を供給することができるため、飛行機や自動車、

船など、移動するものに対する送電が可能となる。また、無線電力伝送に使用される周波数は主にマイクロ波であるため、マイクロ波電力伝送(Microwave Power Transmission)とも呼んでいる。

3. 2 電波による無線電力伝送の経緯

電波による電力伝送は古くから多くの研究者によって研究されており、電波によって変調信号を送るという概念が成立する以前からの課題であった。1899年にニコラ・テスラがアメリカのコロラドスプリングスにおいて、150kHzに共振させた大きなコイルに銅球を取り付け300kWの電力を加えることにより、銅球に100MVに達する電圧を加えて、放電させる実験を行った²¹⁾といわれている。これは明確に無線による電力伝送を目指した研究ではあったが、残念ながら正確な記録が残っていない²¹⁾。また、八木宇田アンテナの発明者である八木先生と宇田先生も1926年に波長440cmのVHFを用い、2m程度離れた送受電アンテナの間にwave canalという無給電素子を配置して一種の導波路を構成し、無線送電の実験を行った²²⁾。真空管(2極管)で構成した整流器をアンテナに接続することにより受電したが、送信機の出力電力が2~3Wのとき、200mW程度の出力電力しか得られなかった。これは、日本における最初の無線送電の実験と考えられる。

このような先人達の努力にも拘わらず、応用分野が開拓されるまでマイクロ波送電技術に大きな進展はなかった。この技術が最初に脚光を浴びたのは1964年にアメリカのW. C. Brownがマイクロ波送電によってヘリコプタを飛翔させたときであった^{21,23)}。これは、マグネトロンとスロットアンテナを使用したアンテナを送電系として使用し、ヘリコプタ上にダイポールアンテナを使ったレクテナアレーを搭載することにより、ヘリコプタを飛翔させる実験であった。ヘリコプタの操縦は行わないため、機体の四隅には回転防止のための紐が付いている。この実験によって200Wの電力が得られたことが記録されている。その翌年、P. E. Glaserは宇宙太陽発電衛星(Solar Power Satellite, 以降本論文ではSPSと略称する)の概念を提唱し、静止軌道上の宇宙

発電基地で発電した電力を地上に向かって送電し、地球へのエネルギー供給に使用するというアイデアを提案した²⁴⁾。この計画は後に石油ショックが起こったときに、代替エネルギーの候補としてその研究に資金援助され、1970年代にはNASAを中心としたフィージビリティ・スタディが実施され、地上36000kmの静止衛星軌道上に10km×5kmの太陽電池を打ち上げ、取り付けられている直径1kmの送信アンテナを通じて、100万キロワット（原子力発電所1基分）の電力を地上に送電する計画が立てられた。これは、NASA リファレンスモデルと呼ばれ、SPSのシステムデザインの最も古い設計例である。この計画の一環として、R. M. Dickinsonによる地上の固定点間の送電実験などが行われ²⁵⁾、この送電実験は、30kWの電力を1マイル離れた地点に送電しており、現在でも固定点間のマイクロ波送電としてはその記録は破られていない。

このSPSの計画はその後、石油事情の好転にともなって凍結されたため、マイクロ波送電の研究開発計画は一時頓挫しながらも、各国で継続的な検討がなされている。また、派生的な研究として、高々度プラットフォームの研究をも実施され、カナダのCommunications Research Centre (CRC)においては、Stationary High Altitude Radio relay Platform (SHARP)計画を推進したこの一環として、SHARP無人機の1/8スケールモデルを開発し、この模型飛行機をマイクロ波送電により飛翔させるデモンストレーションに成功した^{26,27)}。このデモンストレーションでは、15フィート(4.57m)のパラボラアンテナから10kWの電力を放射し、無人機上にレクテナ搭載用の円板を取り付けて、ダイポールアンテナを用いたレクテナを使って受電した。飛行高度は300フィート(91.4m)前後であり、3分半の滞空に成功した。受電電力は150~200W前後であった。

1992年には京都大学を中心とした共同研究グループが、マイクロ波による小形模型飛行機の飛翔実験(MIcrowave Lifted Airplane eXperiment, MILAX)^{28,29)}を行った。これは、マイクロ波送信機を搭載した自動車からアクティブフェーズドアレーを使って1kWの電力を15m上空の模型飛行機に向かって送電し、小形

模型飛行機の飛翔に使用するという実験であった。本実験では模型飛行機を150m、40秒間自由飛行をさせることができ、また、88Wの受電電力を確認することができた。この模様を図11に示す。1995年には通信総合研究所、神戸大学、機械技術研究所などの共同研究グループがさらに大規模化した実験として、飛行船へのマイクロ波電力伝送実験を行い、3kWの受電に成功した。このときのレクテナを図12に示す³⁰⁾。

3. 2 日本でのSPS計画の進捗

日本でのSPSの研究は、過去にも宇宙科学研究所(現JAXA宇宙科学本部)で検討されていたSPS2000などのプロジェクトがあった。これらのプロジェクトで、SPS衛星の構成としては大きく2つに分けられることが多い。一つは「実用衛星」であり、もう一つは「実証衛星」衛星である。

実用衛星が、NASA リファレンスモデルの検討がそうであったように、静止軌道から1GW級の電力を送電するものである。これは、静止軌道が24時間夜になることがほとんどなく、よって地上太陽光発電や他の自然エネルギーによる発電にありがちな発電電力の時間変動がなく、安定的な電力を発電可能であるという大きな利点がある。このため、原子力発電と同様なベースラインとしてのエネルギーに位置づけることが可能である。

たとえば、経済産業省³¹⁾やJAXA³²⁾が検討している一例を示す。太陽追従マイクロ波型SPSでは、薄い発電一体型パネルを打ち上げ、その大きさは2km×1.9km、厚さは2から10cm程度となる。パネルの隅から5~10kmにおよぶテザーと称される紐を付けることで、重量安定を用いて安定化させることが可能となる。総重量は2万トンを想定している。

しかしながら、「実用衛星」の規模は現在の宇宙輸送技術(ロケット技術)で建設できる規模を越えており、複数の打ち上げ機会を用いて軌道上で組み立てを行うための技術や、輸送系にかかるコストを格段に低下させる技術を開発する必要がある。

これらの技術開発は長い開発期間が必要であるため、まず、この技術の有効性を実証するための「実証衛星」

が考えられてきている。これは、基本的に 1 回の輸送手段(ロケット)において運搬できるという制約の中で、SPS 衛星として必要な技術を実証しようとするものである。

このため、高度の低い低軌道衛星を使用した実証実験が考えられている。高度 300km 程度の低高度衛星を使用することで、距離による電波の減衰を極力抑えたシステムであり、このことで、実用 SPS につながる基礎技術を開発するものである。

現在、日本で SPS は国の宇宙計画である宇宙基本計画に一致づけられており、「宇宙太陽光発電システムについては、我が国のエネルギー需給見通しや将来の新エネルギー開発の必要性に鑑み、無線による送受電技術等を中心に研究を着実に進める。宇宙空間での実証に関しては、その費用対効果も含めて実施に向けて検討する。」とされている。

4. 無線電力伝送に使われる受電デバイスについて

4. 1 レクテナとは

マイクロ波電力伝送に使用される受電装置は、レクテナ(rectenna)と呼ばれている。これは、マイクロ波を受電するアンテナにマイクロ波を電力に変換する整流装置を取り付けたものであり、アンテナ(antenna)と整流器(rectifier)を組み合わせで作られた造語である。代表的なレクテナの構成を図 13 に示す。レクテナは通常、アンテナと整流用のダイオード、およびフィルタで構成される。アンテナで受電されたマイクロ波の電力はダイオードで直流電力に変換され、その前後にフィルタを挿入することにより、ダイオードが整流動作を行う際に生ずる高調波を抑制する。また、レクテナ 1 素子で取り扱える電力は大きくないので、通常はこれらのレクテナ素子を複数個同時に動作させるためにアレー化する。代表的な整流回路の写真を図 14 に示す。

4. 2 レクテナの開発経緯

W. C. Brown とその一連の仕事で使われたのは、反射板付きダイポールアンテナを使ったレクテナであった。これらは、R. M. Dickinson の実験をまとめた NASA

の Contract Report²⁵⁾に詳細にまとめられている。専用ダイオードの開発から実施されており、80~90%近くの効率を記録していた。ダイポールレクテナの構成はカナダ CRC における SHARP プロジェクトに引き継がれ、機体搭載用の薄型ダイポールレクテナの開発がなされている。

MILAX 模型飛行機実験²⁸⁾のために開発されたレクテナは重量が約 1kg、厚さが 5mm と軽量化、薄型化を実現している。このため、アンテナ部にマイクロストリップアンテナを採用し、またその基板材料にペーパーハニカムを使用している。RF-DC 変換効率は 52.7%であった²⁹⁾。本実験では模型飛行機を距離 150m、40 秒間自由飛行をさせることができた。

その後、より大規模化した実験として CRL は共同で飛行船の滞空実験を実施することになる。この実験では円形マイクロストリップアンテナを用い、81%の効率をもつレクテナを作成することができた³⁰⁾。

さらに、飛翔体から地上へのマイクロ波送電実験もその後実施された。これは、2009 年に京都大学が中心となって実施した実験であり、高度 33m に係留した飛行船からの送電実験に成功している³³⁾。さらに、近年では小型飛行ロボットシステムとして、Micro Aerial Vehicle (MAV)と称するバッテリー駆動を基本とした無人、自動操縦の小型飛行体の研究も実施されており、送電、追尾、受電に関する原理的な実験が実施されている³⁴⁾。

さらに、SPS 実証計画用レクテナとして筆者らは長方形反射鏡付きレクテナを提案している。これは、実証試験用として低軌道衛星を使用する場合、低軌道衛星であるために電力伝送を行うことができる時間が僅かとなる。また、送電電力にも限りがあるため、地上面での電力密度が低くなり、反射鏡を用いたレクテナを使い、かつ衛星の進行方向にビームを広く整形したレクテナを考案した(図 15)³⁵⁾。

また、レクテナ効率の測定の曖昧さを克服するために、国際会議においてレクテナを持ち寄り、入力電力等と同じ環境で出力電力を競う、レクテナコンテストがフランス領レユニオン島における 2001 年 WPT 国際会議に併設されて実施された。その結果、著者がコンテストの 1

位となった。図 16 にそのときの写真と盾を示す。

これらの技術開発を通じて、環境に影響を与えないエネルギーシステムの実現に向けて取り組む予定である。

4 まとめ

本稿では、無線（ワイヤレス）技術を使った宇宙空間での応用に関して、現在考えられている 2 つの応用例に関して現状紹介と研究成果の一端を紹介した。

次世代型衛星携帯電話システムや、宇宙太陽発電システムに関してはいずれも実現はまだ先のことではあるが、アンテナやマイクロ波回路、デジタル信号処理技術の応用分野としての宇宙関連分野は着実に進展しており、これらの進捗に寄与してゆきたいと考えている。

参考文献

- 1) 泉田, ‘大規模災害時の情報通信に対する期待’, 2009 ソ大, TK1-1, (2009-09).
- 2) ‘情報通信分野における東日本大震災による被害状況とこれまでの復旧状況’, 情報通信審議会 情報通信政策部会 (第 37 回) 資料 37-1-10 (2011-6)
- 3) 山本他, ‘ワイドスターⅡの概要’, 2010 ソ大, BI-1-9, (2010-9)
- 4) <http://www.kddi.com/business/iridium/keitai/index.html>
- 5) 蓑輪他, 信学論 B, Vol.J91-B, No.12, pp.1629-1640, (2008-12).
- 6) 三浦他, ‘地上/衛星共用携帯電話システムの衛星上り回線干渉量の解析’, 2009 ソ大, B-3-6, (2009-09).
- 7) 三浦他, ‘地上/衛星共用携帯電話システムリソース最適化装置の開発’, 2010 全大, B-3-3, (2010-03).
- 8) 三浦他, ‘地上衛星共用携帯電話システムにおける地上システム上り回線からの干渉モデルのパラメータスタディ’, 2010 ソ大, B-3-2, (2010-09)
- 9) 渡邊他, ‘地上/衛星共用携帯電話システムの干渉量評価のための携帯電話端末送信出力測定実験’, 信学論 B, Vol.J94-B, No.3, pp.419-422, (2011-03).
- 10) 渡邊他, ‘地上/衛星共用携帯電話システムの干渉量評価に関する北海道地区での携帯電話出力測定実験’, 2011 総大, B-3-23, (2011-03)
- 11) 辻他, ‘地上/衛星共用携帯電話システムにおける航空機を利用した携帯電話端末および基地局からの干渉量測定実験’, 2010 全大, B-3-5, (2010-03).
- 12) 三浦他, ‘地上/衛星共用携帯電話システムの干渉評価のための携帯端末と疑似衛星局を用いた屋内/屋外伝搬基礎実験’, 2010 ソ大, B-3-3, (2010-09)
- 13) 佐藤他, “地上/衛星共用携帯電話システムの干渉評価のための住宅街環境における地上携帯電話送信電力評価実験”, 2012 総大, B-3-28, (2012-03).
- 14) 藤野他, ‘低軸比特性を有するキャビティ装荷 4 点給電広帯域円偏波 MSA の試作結果’, 2010 総大, B-1-146, (2010-03).
- 15) Thomas C. Butash and Joseph R. Marshall, ‘Leveraging Digital On-Board Processing to Increase Communications Satellite Flexibility and Effective Capacity’ 28th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2010), AIAA2010-8715, 30 August - 2 September 2010, Anaheim, California
- 16) 小宮山他, ‘地上/衛星共用携帯電話システム用衛星側チャネライザ/DBF の基本回路開発’, 2010 ソ大, B-3-5, (2010-09)
- 17) 織笠他, “地上衛星共用携帯電話システム用小規模給電回路の放射パターン測定及び評価”, 2012 総大, B-3-30, (2012-03).
- 18) 辻他, ‘地上/衛星共用携帯電話システム用小規模 DBF/DC におけるビーム形成および低サイドロープ化機能の測定評価’, 2012 ソ大, B-3-25, (2012-09)
- 19) 小宮山他, ‘地上/衛星共用携帯電話システム衛星搭載用超多ビーム送信チャネライザ/DBF 基本回路の試作’, 2012 ソ大, B-3-27, (2012-09)
- 20) 藤野他, ‘衛星搭載化のためのデジタルチャネライザ/DBF の要素技術開発’ 2012 ソ大, B-3-28, (2012-09)
- 21) W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-32, No.9, pp.1230-1242, Sep., 1984.
- 22) H. Yagi and S. Uda, "On the feasibility of power transmission by electric waves", Proc. Third pan-pacific science congress, Vol.2, pp.1307-1313, Tokyo, 1926.
- 23) W. C. Brown and E. E. Eves, "Beamed microwave power transmission and its application to space", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol.MTT-40, No.6,

pp.1239-1250, Jun., 1992.

- 24) P. E. Glaser, "An overview of solar power satellite option",
IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol.MTT-40,
No.6, pp.1230-1238, Jun., 1992.
- 25) R. M. Dickinson, "Beamed microwave power transmitting
and receiving subsystems radiation characteristics",
NASA contractor's report, CR-163362, 1980.
- 26) J. J. Schlesak and A. Alden, "SHARP rectenna and low
altitude flight tests", Proc. IEEE Global Telecomm. Conf.,
New Orleans, Dec., 1985.
- 27) J. J. Schlesak, A. Alden and T. Ohno, "A microwave
powered high altitude platform", Proc. IEEE MTT-S
International Symposium, May, 1988.
- 28) 松本, 賀谷, 藤田, 藤野, 藤原, 佐藤, "MILAX の成果と模型
飛行機", 第 12 回宇宙エネルギーシンポジウム, 宇宙科学研
究所, pp.47-52, Mar., 1993.
- 29) 藤野, 藤田, 沢田, 川端, "MILAX 用レクテナ", 第 12 回宇宙
エネルギーシンポジウム, 宇宙科学研究所, pp.57-61, Mar.,
1993.
- 30) Y. Fujino, M. Fujita, N. Kaya, M. Onda, S. Kunimi, M.
Ishii, N. Ogihara and N. Kusaka, "Wireless power
receiving system for microwave propelled airship
experiment", Space Technology, Vol.17, No.2, pp.89-93.
(1997 年 12 月)
- 31) http://www.jspacesystems.or.jp/project_ssps/
- 32) <http://www.ard.jaxa.jp/research/hmission/hmi-ssps.html>
- 33) 橋本, 山川, 篠原, 三谷, 川崎, 高橋, 米倉, 平野, 藤原,
長野, "飛行船からのマイクロ波による電力と情報の同時伝
送実験", 第 28 回宇宙エネルギーシンポジウム予稿, 2009.03
- 34) 澤原, 小田, 石場, 小紫, 荒川, 田中, "軽量フレキシブル
レクテナ搭載 MAV へのマイクロ波自動追従送電", 第 30 回
宇宙エネルギーシンポジウム予稿, 2011.03
- 35) 荻村, 藤野, "SPS 実証試験用楕円ビームパラボラレク
テナの研究", 第 23 回宇宙エネルギーシンポジウム, 宇宙
航空研究開発機構, pp.134-138, (2004/03)



図 1 STICS システムの利用イメージ

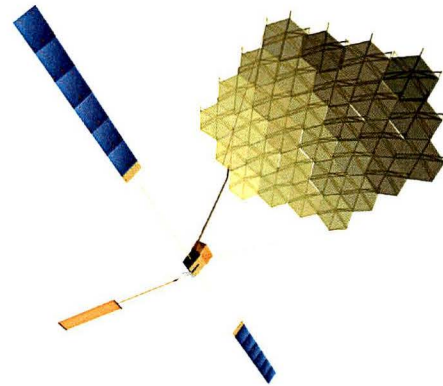


図 2 STICS において想定する衛星搭載アンテナ

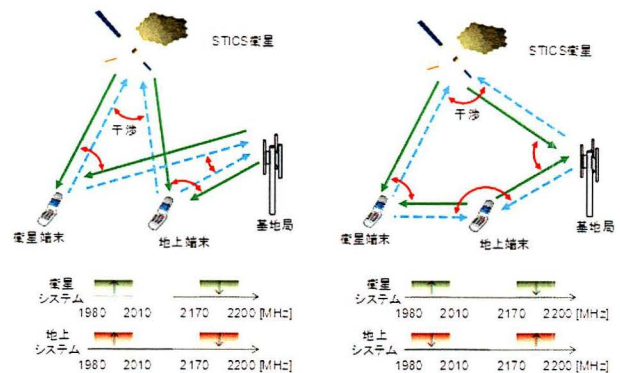


図 3 STICS における周波数配置と干渉経路



図4 送信電力測定装置外観写真

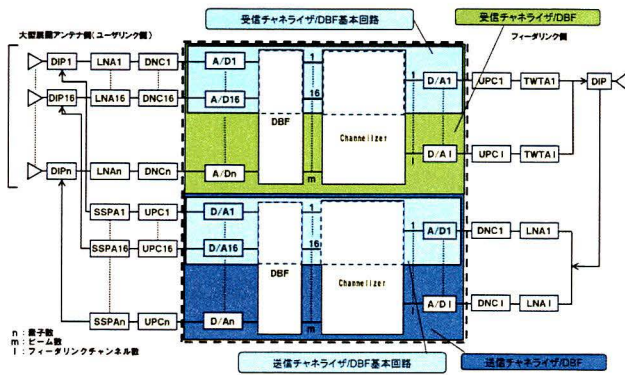


図5 STICS衛星搭載機器構成図

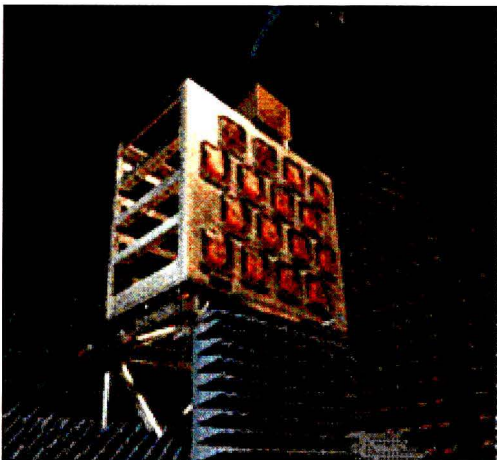
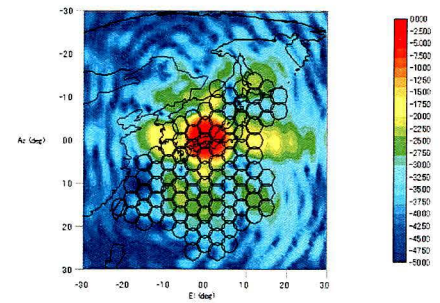
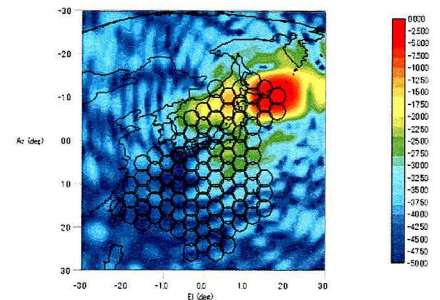


図6 近傍界測定中の小規模給電部



(a) サービスエリア端部



(b) サービスエリア中心部

図7 パターン形成測定結果



図8 大型鏡面とDBF 組合せ試験

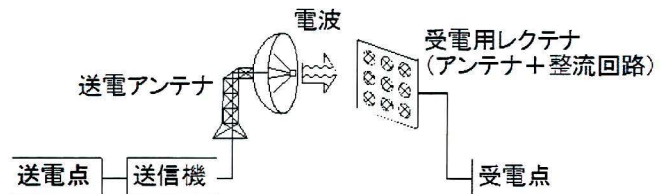


図9 電波による電力伝送の模式図

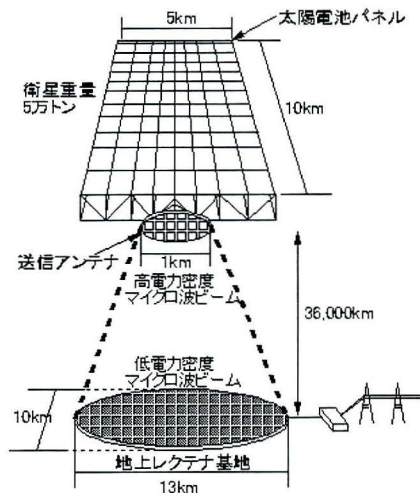


図 10 宇宙太陽発電衛星システム (NASA リファレンスシステム)

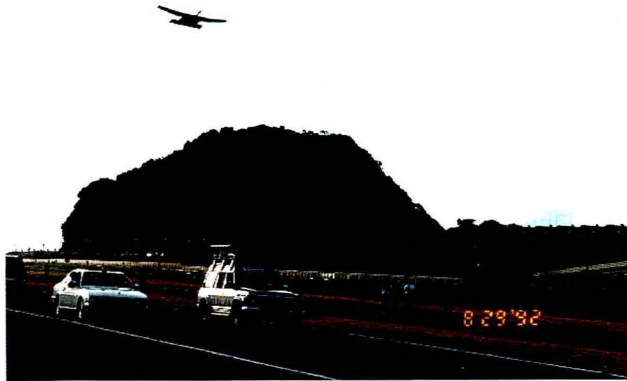


図 11 MILAX 自由飛行試験の様様

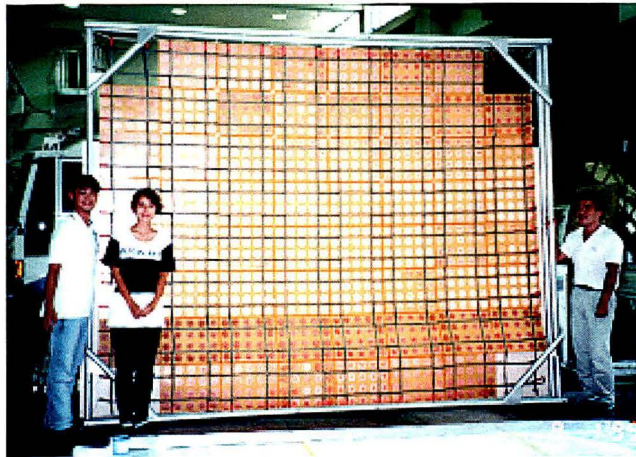


図 12 飛行船実験用レクテナ

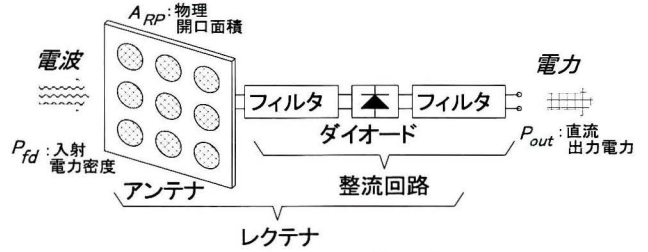


図 13 レクテナの原理的構成図。

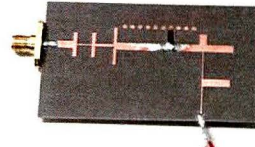


図 14 レクテナ整流回路部の例



図 15 反射鏡レクテナ



図 16 第 1 回国際レクテナコンテスト参加者と
受賞盾